

Izboljšava kvalitete slike prstnega odtisa

Jernej Bule, Peter Peer

Laboratorij za računalniški vid, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Univerza v Ljubljani,
Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana
E-pošta: {jenej.bule, peter.peer}@fri.uni-lj.si

Fingerprint Image Enhancement

The performance of minutiae extraction algorithms and other algorithms in fingerprint recognition systems relies heavily on the quality of the input fingerprint images. Extracting features out of poor quality prints is an open problem. This paper presents different popular algorithms for fingerprint image enhancement and comparisons between them. We extended popular fingerprint enhancement based on Short Time Fourier Transform and Two-Stage Enhancement Scheme with 1D smoothing and obtained improvement in the recognition rate on a set of 800 bad quality images from FVC2002 database.

1 Uvod

V nasprotju s splošnim prepričanjem, in kljub desetletjem raziskav na področju prstnih odtisov, je zanesljivo prepoznavanje prstnih odtisov odprt problem. Ekstrakcija značilk s prstnih odtisov slabe kvalitete je težava, ki raziskovalcem predstavlja velik izziv.

Učinkovitost algoritmov za ekstrakcijo značilk in drugih tehnik v postopku razpoznavanja prstnih odtisov je v veliki meri odvisna od kvalitete slike prstnega odtisa. Idealni prstni odtis je nepoškodovan, zgrajen iz dobro vidnih grebenov in dolin (slika 1a). V takšnih okoliščinah sistem dobro zazna grebene in določi lokacije značilk na sliki prstnega odtisa. V praksi pa imamo pogosto opravka s prstnimi odtisi slabše kvalitete (slika 1b, 1c, 1d). Težave predstavljajo različne kožne razmere (npr. suhi ali mokri prsti, ureznine, praske), šum senzorja čitalca, nepravilen pritisk prsta na čitalec. Hkrati pa so velik problem odtisi starejših oseb in delavcev, ki opravljajo fizična dela [3].

Če želimo zmanjšati verjetnost napačne razpoznavanja, je potreben učinkovit in robusten modul za izboljšavo kvalitete slike, posebno za slike prstnih odtisov slabe kvalitete.

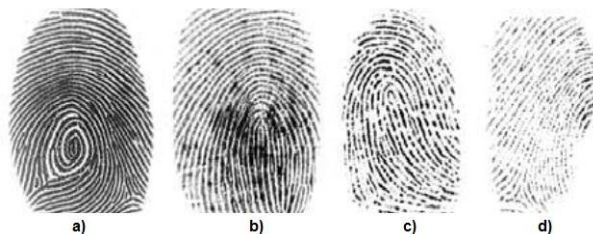
V članku predstavljamo različne metode za izboljšavo kvalitete slike, ki jih uporabljamo v lastnem sistemu za razpoznavo na podlagi prstnega odtisa.

2 Kvaliteta slike

V večini primerov vsebujejo slike prstnega odtisa regije dobre, srednje in slabe kvalitete. V slednjih so vzorci grebenov zelo šumni in poškodovani. V splošnem pa lahko slike prstnih odtisov slabe kvalitete razdelimo v več razredov in sicer na: 1) tiste, katerih grebeni so

prekinjeni; 2) tiste, na katerih sosednji grebeni niso dobro ločeni – težko določanje širine grebenov; 3) tiste, ki vsebujejo ureznine, praske in gube.

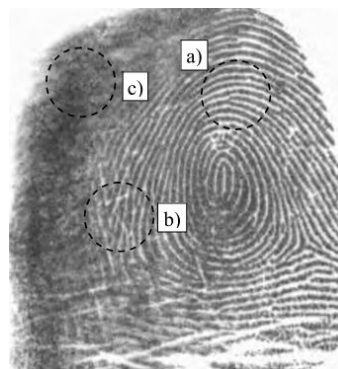
Omenjeni tipi degradacije povzročajo težave v postopku določevanja toka grebenov, kar v fazi iskanja značilk vodi do naslednjih težav: 1) na sliki odtisa je najdenih veliko število lažnih značilk; 2) veliko število pravih značilk je izpuščeno.



Slika 1 – Slike prstnih odtisov različne kvalitete: a) dobra kvaliteta slike z dobrih kontrastom med grebeni in dolinami; b) nezadostno razlikovanje med grebeni in dolinami v sredini prstnega odtisa; c) in d) odtis suhega prsta [1].

Običajno sliko prstnega odtisa razdelimo v tri kategorije in sicer:

- dobro definirana regija – tu so grebeni dobro ločeni med sabo (slika 2a),
- obnovljiva regija – tu so grebeni poškodovani z majhno količino ureznin, razmikov, madežev, ampak še vedno so vidni, sosednji dobro definirani grebeni pa ponujajo dovolj informacije za obnovitev poškodovane strukture (slika 2b),
- neobnovljiva regija – tu so grebeni zelo poškodovani, sosednji grebeni pa ne omogočajo rekonstrukcije poškodovanih grebenov (slika 2c).



Slika 2 – Slika prstnega odtisa, ki vsebuje različne regije kvalitete: a) dobro definirana regija; b) obnovljiva regija; c) neobnovljiva regija [1].

Omenjene regije lahko določimo na podlagi številnih kriterijev, kot so kontrast slike, konsistentnost orientacije, frekvenca grebenov ipd.

Cilj algoritma za izboljšavo kvalitete slike je torej izboljšava strukture grebenov (očitna razlika med grebenom in dolino) v regijah, ki so obnovljive in označba neobnovljivih regij kot preveč šumnih za nadaljnjo procesiranje.

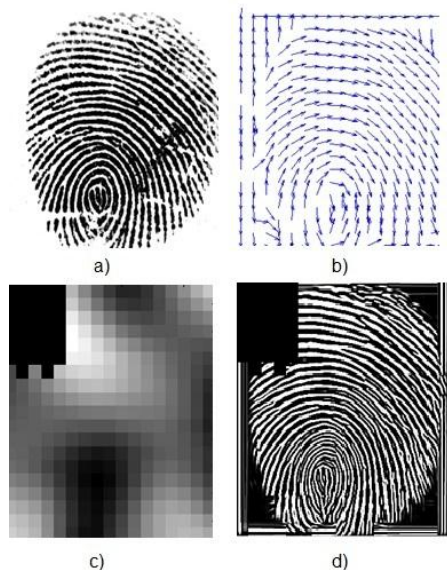
3 Metode izboljšave kvalitete slike

Zaradi nestacionarne narave slike prstnega odtisa, je uporaba enega samega filtra na celi sliki običajno nepraktična. Večina uporabljenih metod zato temelji na uporabi kontekstualnih filtrov, katerih parametri so odvisni od lokalne frekvence grebenov in orientacij.

Pri izboljšavi kvalitete slike je potrebno upoštevati dve pomembni lastnosti prstnega odtisa in sicer kontinuiteto grebena (neprekinjenost grebena, razen ob zaključku le tega) in pravilnost (počasno spreminjanje orientacije in frekvence znotraj prstnega odtisa). Prav zaradi omenjenih lastnosti lahko poškodovane regije obnovimo s pomočjo kontekstualnih informacij okolice obravnavanega dela odtisa.

3.1 Hongova metoda

Vhod v Hongovo metodo [2] je sivinska slika ter polje, ki je rezultat koraka segmentacije. Najprej je potrebno izračunati lokalno orientacijo grebenov. Za izračun orientacije se uporablja metoda gradientov (podobno tudi v ostalih metodah). Gradienta za smer x in y izračunamo s pomočjo Sobelovega operatorja. Zaradi pojavitve nezanesljivih orientacij, ki nastanejo zaradi ureznin, prask ali kakšnih drugih poškodb je potrebno orientacije prstnega odtisa zgladiti (slika 3b).



Slika 3 – Hongova metoda: a) originalna slika; b) orientacijsko polje; c) slika frekvenc grebenov; d) izboljšana slika.

Po izračunu orientacijskega polja se izračuna lokalna frekvenca grebenov (slika 3c). Za izračun lokalne frekvence grebenov potrebujemo na vходу sivinsko sliko prstnega odtisa ter orientacijsko sliko. Takšen način izračuna že v začetni fazi poveča možnost napake zaradi odvisnosti od orientacijskega polja. Frekvenco izračunamo s pomočjo sinusoidne krivulje, ki predstavlja posamezne stopnje sivine.

Po izračunu orientacijske in frekvenčne slike s pomočjo Gaborjevih filtrov izvedemo filtriranje (enačba 1). Gaborjev 2D filter ima frekvenčno in orientacijsko selektivne lastnosti, je ploščat in simetričen:

$$G(x, y, \theta, f) = e^{\left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{x_{\theta}^2}{\sigma_x^2} + \frac{y_{\theta}^2}{\sigma_y^2} \right] \right\}} * \cos(2\pi f * x_{\theta}), \quad (1)$$

kjer je θ orientacija filtra, (x_{θ}, y_{θ}) so koordinate (x, y) po rotaciji za kot $(90^\circ - \theta)$, f je frekvenca, σ_x in σ_y sta standardni deviaciji Gaussove ovojnice vzdolž x in y osi. S tema parametroma uravnavamo pasovno širino filtra.

Na izhodu dobimo izboljšano sliko prstnega odtisa (slika 3d). Slika je zaradi odvisnosti izračuna frekvence od orientacije, na delih, kjer zanesljive orientacije ni bilo možno izračunati, močno popačena oziroma nedoločljiva. Prav tako zaradi netočnega izračuna frekvence na nekaterih delih prstnega odtisa prihaja do tvorbe velikega števila fiktivnih grebenov, kar posledično močno zmanjša učinkovitost sistema.

3.2 1D glajenje

V metodi 1D glajenja [7] prstni odtis najprej razdelimo na bloke in izračunamo histogram slike. Histogram po robovih zgladimo in na podlagi le tega izračunamo masko, ki jo uporabimo pri segmentaciji. Sliko nato segmentiramo, kjer odtis ločimo od ozadja (slika 4b). S pomočjo segmentirane slike izračunamo orientacije posameznih blokov, orientacije pa nato zgladimo s pomočjo orientacij iz okolice (slika 4c).



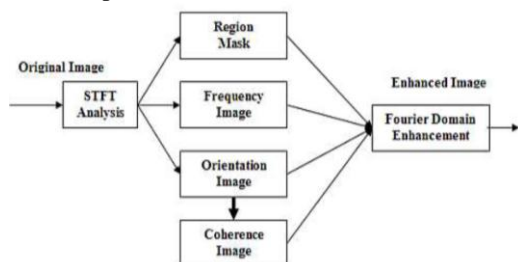
Slika 4 – 1D glajenje: a) originalna slika; b) segmentirana slika; c) orientacijsko polje; d) izboljšana slika.

Vhod v algoritem izboljšave kvalitete je segmentirana slika prstnega odtisa, orientacijsko polje, maska in bloki. Najprej določimo 32 usmerjenih linij, na vsaki izmed njih se nahaja 11 točk. Vsaka izmed linij ima svojo usmerjenost, v radiju 360° . S pomočjo orientacijskega polja nato izračunamo katera izmed linij se najbolje prilega orientaciji v obravnavanem oknu. S pomočjo točk, ki se nahajajo na izbrani liniji, in njihove okolice nato zgladimo grebene prstnega odtisa v posameznem bloku (slika 4d).

Kljub temu, da gre le za enodimenzionalno glajenje, s pomočjo te metode dosežemo zelo dobre rezultate.

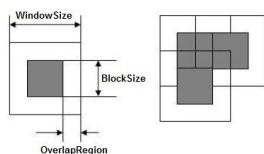
3.3 Pristop na osnovi kratko-časovne Fourierve transformacije

Metoda temelji na kontekstualnem filtriranju v Fourierovi domeni [1]. Pristop odpravlja potrebo po računanju številnih lastnosti slike, katerih izračuni so medsebojno odvisni in jih zamenja z enotnim pristopom. Algoritem hkrati izračuna orientacijsko sliko, frekvenčno sliko in masko s pomočjo kratko-časovne Fourierve analize (KČFT). V večini obstoječih algoritmov je izračun frekvenčne slike in maske odvisen od natančnosti izračuna orientacijskega polja, kar v tem algoritmu ni primer.

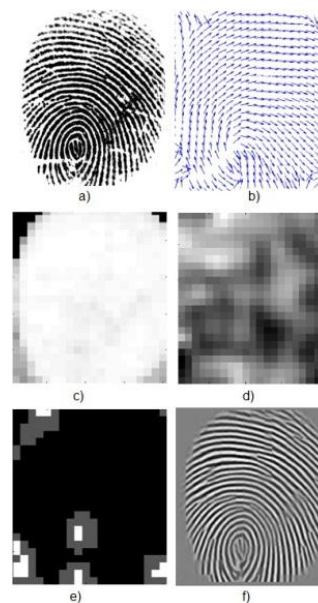


Slika 5 – Shema pristopa na osnovi kratko-časovne Fourierve transformacije [1].

Slika 5 predstavlja shemo postopka na osnovi KČFT. Med postopkom je slika razdeljena na več prekrivajočih oken (sliki 6a in 6b). Predpostavlja se, da je slika znotraj malega okna stacionarna in jo lahko obravnavamo kot površinski val. Nato je obravnavan Fourierov spekter te majhne regije, na podlagi katerega so ocenjene vrednosti orientacije (slika 7b) in frekvence (slika 7d) grebenov. KČFT omogoča ekstrakcijo energijske slike (slika 7c), ki je lahko uporabljena kot maska za ločevanje prstnega odtisa od ozadja. S pomočjo orientacijske slike je nato izračunana kotna skladnost posameznih orientacij (slika 7e). Kontekstualne informacije, ki jih dobimo s pomočjo orientacijske in frekvenčne slike so nato uporabljene za filtriranje vsakega okna v Fourierovi domeni. Izboljšana slika prstnega odtisa (slika 7f) je nato pridobljena z združevanjem posameznih obravnavanih oken [1].



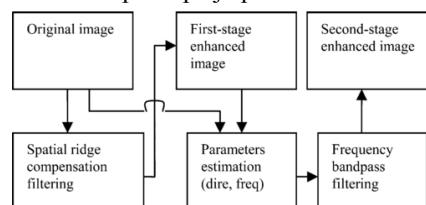
Slika 6 – a) Prekrivajoče okno in uporabljeni parametri v KČFT; b) prikaz prekrivanja oken med analizo [1].



Slika 7 – Uporaba KČFT: a) Originalna slika; b) orientacijska slika; c) energijska slika; d) frekvenčna slika; e) slika kotne skladnosti – regije visoke ukrivljenosti; f) izboljšana slika.

3.4 Dvostopenjska izboljšava prstnega odtisa

Pri tej metodi izboljšava kvalitete slike poteka v dveh stopnjah [4]. Sicer je metoda zelo podobna metodi na osnovi KČFT. V prvi fazi izboljšave se izboljša kvaliteta slike v prostorski domeni in nato v drugi še v frekvenčni domeni. Parametri (orientacija in frekvenca) za frekvenčno pasovno-prepustni filter (druga faza) so določeni iz originalne slike in slike dobljene v prvi fazi izboljšave. Shema pristopa je prikazana na sliki 8.



Slika 8 – Shema dvostopenjske izboljšave slike [4].

Prva stopnja izboljšave (slika 9a)

V prvem koraku se izboljšata jasnost in kvaliteta grebenov na podlagi sosednjih slikovnih točk v majhni okolici in sicer s pomočjo utežene maske vzdolž orientacijskega polja lokalnih grebenov. Vsaka slikovna točka prstnega odtisa je tako zamenjana s sosednjimi slikovnimi točkami, ki so primerno utežene. Filter nato izboljša kontrast grebenov vzdolž lokalne orientacije, zmanjša pa vrednosti slikovnih točk, ki ne pripadajo grebenom. S pomočjo tega se povežejo prekinjeni grebeni in odstranijo umazanije. Za razliko od operacije glajenja se tu torej uporablja filter, ki je odvisen od uteženih vrednosti v okolici.

Druga stopnja izboljšave (slika 9b)

Čeprav se v prvi fazi izboljšave slike izboljša kontrast grebenov, lahko ta proces delno zamegli sliko. Zaradi tega potrebujemo drugo fazo izboljšave z dobro naravnanim frekvenčno pasovno-prepustnim filtrom. Parametri filtra (orientacijsko polje, frekvenca) so

pridobljeni iz originalne slike in slike, ki je rezultat prve faze izboljšave. Ocena orientacije je s pomočjo obeh slik bolj natančna [5]. Frekvenca grebenov je izračunana podobno kot v poglavju 3.1, s tem, da se tukaj za izračun uporabijo dve sliki (originalna slika in slika prve faze izboljšave). Po izračunu parametrov se za vsak blok izvede Fourierjeva transformacija, filtriranje in nato inverzna Fourierjeva transformacija.



Slika 9 – Dvostopenjska izboljšava slike: a) prva faza; b) druga faza.

4 Rezultati

Algoritme za izboljšavo kvalitete slike smo testirali na bazi prstnih odtisov DB3 iz tekmovanja FVC2002 (angl. Fingerprint Verification Competition) [6]. Baza DB3 je vsebovala odtise zajete s kapacitivnim čitalcem, kar posledično pomeni, da so odtisi slabše kvalitete. Baza je vsebovala 800 prstnih odtisov. Za vsak algoritem smo izračunali EER (angl. Equal Error Rate), ki predstavlja vrednost, kjer sta stopnji napačnega ujemanja FAR (angl. False Match Rate) in napačnega ne-ujemanja FNMR (angl. False Non-Match Rate) enaki.

Izračunali smo tudi EER sistema brez modula za izboljšavo kvalitete slike. Sistem ima najslabšo učinkovitost, ko modul za izboljšavo kvalitete slike izpustimo iz procesiranja odtisa. S tem smo dobili potrditev, da je naš modul za ekstrakcijo značilk precej občutljiv na kvaliteto slike. S pomočjo Hongove metode, smo EER izboljšali, še vedno pa je stopnja napake relativno velika, predvsem zaradi odvisnosti izračuna frekvence od orientacijskega polja. To posledično pomeni tvorjenje fiktivnih grebenov in fiktivnih značilk. Hongova metoda se sicer kar dobro odreže na slikah dobre kvalitete, kar pa pri testirani bazi DB3 ni primer. Z 1D glajenjem okolice grebenov smo dosegli bistveno izboljšanje kvalitete slike, do tvorbe fiktivnih grebenov ni več prihajalo. Najboljše rezultate smo dosegli z hibridnima metodama kratko-časovne Fourierjeve transformacije z 1D glajenjem in dvostopenjske izboljšave z 1D glajenjem. Metodi KČFT in dvostopenjske izboljšave smo z 1D glajenjem tako izboljšali za približno 21%. Rezultati testiranja so predstavljeni v tabeli 1.

Časovno najbolj potratna je bila metoda dvostopenjske izboljšave, ki največ časa poraba pri računanju variance in srednje vrednosti slikovnih točk za vsak obravnavani blok. Izstopa še metoda 1D glajenja, ki odtis izboljša zgolj v 70ms.

Tabela 1 – Rezultati obravnavanih metod za izboljšavo kvalitete slike prstnega odtisa.

Metoda	EER	Čas procesiranja
Brez izboljšave	37,5 %	/
Hongova metoda	29,5 %	0,444 s
1D glajenje	7,8 %	0,07 s
KČFT	7,8 %	0,430 s
Dvostopenjska izboljšava	7,5 %	10,538 s
KČFT + 1D glajenje	6,1 %	0,512 s
Dvostopenjska izboljšava + 1D glajenje	5,9 %	10,732 s

5 Zaključek

Učinkovitost algoritmov za ekstrakcijo značilk in algoritmov ujemanja je v veliki meri odvisna od kvalitete vhodne slike. V članku smo predstavili različne metode izboljšave kvalitete slike prstnega odtisa. Najboljše rezultate smo dosegli z metodama KČFT in dvostopenjske izboljšave v kombinaciji z algoritmom 1D glajenja prstnega odtisa.

Naše nadaljnje delo bo temeljilo predvsem na modulu za ujemanje prstnih odtisov, kjer želimo zagotoviti večstopenjsko primerjanje prstnih odtisov.

Zahvala

Delo na projektu kompetenčnega centra je sofinancirano s strani MVZT in Evropskega sklada za regionalni razvoj ter podjetij Mega M d.o.o. in MIEL d.o.o.

Literatura

- [1] Chikkerur, S. S., Cartwright, A. N., Govindaraju, V. (2007). Fingerprint image enhancement using STFT analysis. *Pattern Recognition*, 40(1), str. 198-211, 2007.
- [2] Hong, L., Wan, Y., Jain, A., Fingerprint image enhancement: algorithm and performance evaluation, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20(8), str. 777-789, 1998.
- [3] Maltoni, D., Maio, D., Jain, A. K., Prabhakar, S., *Handbook of Fingerprint Recognition*. Annals of Physics (Vol. 54). Springer-Verlag, New York, 2009.
- [4] Yang, J., Xiong, N., Vasilakos, A., Two-Stage Enhancement Scheme for Low-Quality Fingerprint Images by Learning From the Images. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, str.1-14, 2011.
- [5] Yang, J. C., Park, D. S., Yoon, S., Reference point determination in enhanced fingerprint image, in *Proc. Int. Symp. Comput. Intell. Design*, str.161-164, 2008.
- [6] Fingerprint Verification Competition, dosegljivo na: <http://bias.csr.unibo.it/fvc2002/> (zadnji obisk: 2. 7. 2012).
- [7] NIST Biometric Image Software (MINDTCT), dosegljivo na: <http://www.nist.gov/itl/iad/ig/nbis.cfm> (zadnji obisk: 2. 7. 2012).